

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

JOO-HAENG LEE, ET AL.

Application No.:

Filed:

For: **METHOD FOR MORPHING
GEOMETRIC SHAPES BASED
UPON DIRECTION MAP**

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

REQUEST FOR PRIORITY

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>DATE OF FILING</u>
Korea	10-2002-0082722	23 December 2002

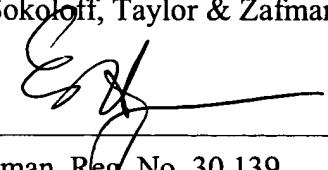
☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 12/10/03

12400 Wilshire Boulevard, 7th Floor
Los Angeles, CA 90025
Telephone: (310) 207-3800


Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto
is a true copy from the records of the Korean Intellectual
Property Office.

출원 번호 : 10-2002-0082722
Application Number

출원 년 월 일 : 2002년 12월 23일
Date of Application DEC 23, 2002

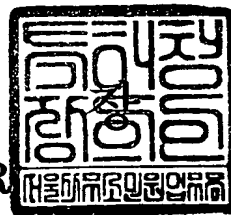
출원인 : 한국전자통신연구원
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Insti



2003 년 09 월 30 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2002.12.23
【발명의 명칭】	방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법
【발명의 영문명칭】	Method for Geometric Shape Morphing using Direction Map
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【명칭】	특허법인 신성
【대리인코드】	9-2000-100004-8
【지정된변리사】	변리사 정지원, 변리사 원석희, 변리사 박해천
【포괄위임등록번호】	2000-051975-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	이주행
【성명의 영문표기】	LEE, Joo Haeng
【주민등록번호】	700430-1148410
【우편번호】	302-777
【주소】	대전광역시 서구 둔산2동 샘머리아파트 212-1203
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김현
【성명의 영문표기】	KIM, Hyun
【주민등록번호】	620820-1123021
【우편번호】	140-131
【주소】	서울특별시 용산구 청파동1가 62-17
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	손덕주
【성명의 영문표기】	SON, Duk Joo

【주민등록번호】 530408-1052114
【우편번호】 305-330
【주소】 대전광역시 유성구 지족동 877 열매마을 510동 2101호
【국적】 KR
【심사청구】 청구
【취지】 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인
 특허법인 신성 (인)
【수수료】

【기본출원료】	20 면	29,000 원
【가산출원료】	35 면	35,000 원
【우선권주장료】	0 건	0 원
【심사청구료】	23 항	845,000 원
【합계】		909,000 원

【감면사유】 정부출연연구기관
【감면후 수수료】 454,500 원
【기술이전】
【기술양도】 희망
【실시권 허여】 희망
【기술지도】 희망
【첨부서류】 1. 요약서·명세서(도면)_1통

【요약서】**【요약】**

본 발명은 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법과 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 관한 것이다. 본 발명의 적어도 두 개 이상의 모양이 서로 다른 기하도형을 부드럽게 모핑하기 위하여 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법은, 상기 기하도형에 대하여, 각각의 방향지도를 추출하는 제 1단계; 상기 방향지도를 병합하는 제 2단계; 병합된 방향지도에 대하여, 그룹단위 크기조절을 수행하는 제 3단계; 및 방향지도의 역함수를 이용하여 다각형을 생성하는 제 4단계를 포함한다. 본 발명에 따르면, 특정한 기하도형을 모양이 다른 기하도형으로 부드럽게 모핑할 수 있도록 하는 효과가 있다.

【대표도】

도 3

【색인어】

모핑, 기하도형, 방향지도, 민코프스키 연산, 베지어 제어, 블러섬 제어

【명세서】**【발명의 명칭】**

방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법{Method for Geometric Shape Morphing using Direction Map}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명이 적용되는 기하도형의 모핑 장치의 구조도,

도 2는 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법에 의해 모핑하고자 하는 기하도형의 일예시도,

도 3은 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 설명하기 위한 일실시에 흐름도,

도 4는 본 발명에 따라 사각형과 마름모 제어도형에 대해서 방향지도 병합을 순차적으로 적용하는 예를 설명하기 위한 일예시도,

도 5는 상기 도 3의 방향지도 병합을 설명하기 위한 일실시에 상세 흐름도,

도 6a 내지 도 6d는 상기 도 5의 초기조건을 설명하기 위한 일예시도,

도 7은 본 발명에 따라 오목한 특징형상이 있는 제어도형에 대하여 대해서 방향지도 병합을 순차적으로 적용하는 예를 설명하기 위한 일예시도,

도 8은 상기 도 7의 병합과정 중 자기교차가 발생한 경우를 설명하기 위한 일예시도,

도 9는 상기 도 8의 자기교차를 제거하는 과정을 설명하기 위한 일예시도,

도 10a 내지 도 10c는 본 발명에 따른 모핑 속도 제어의 동작원리를 설명하기 위한 일 실시예 그래프,

도 11은 본 발명에 따라 모핑 속도가 제어되는 기하도형을 설명하기 위한 일예시도,

도 12는 본 발명에 따라 4개의 제어도형에 대해서 모핑 중간도형을 생성하는 것을 설명하기 위한 일예시도,

도 13은 본 발명에 따라 3개의 제어도형에 대해서 모핑 중간도형을 생성하는 것을 설명하기 위한 일예시도.

*도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

110 : 중앙처리부 120 : 주기억부

130 : 보조기억부 140 : 입력부

150 : 출력부

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<18> 본 발명은 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법과 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 관한 것으로서, 특히 방향지도(Direction Map) 연산을 이용하여 서로 다른 기하도형의 경계선의 모양

을 보간하기 위한 방향지도를 이용한 기하도형 모핑 방법과 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 관한 것이다.

<19> 일반적으로 컴퓨터를 이용하는 캐드(CAD) 시스템, 그래픽 저작도구, 애니메이션 저작도구 등에서는, 특별한 시각효과를 기대하거나 공작기계의 설계경로 생성 등을 나타내기 위하여 모양이 서로 다른 두 개의 기하도형이 주어졌을 때 상기 두 개의 기하도형간의 경계선을 보간하여 하나의 기하도형을 모양이 다른 기하도형으로 부드럽게 변형시키는 모핑(Morphing)을 수행한다.

<20> 그러나, 상기와 같이 컴퓨터에서 이용하는 CAD 시스템, 그래픽 저작도구, 애니메이션 저작도구 등에서 사용되는 종래의 기하도형의 모핑방법은, 주로 기하도형을 모핑하기 위한 모핑식을 기하도형의 대수학적인 성질을 이용하여 복잡하고 어렵게 유도하고 상기 모핑식의 연산결과가 수치적으로 불안정하기 때문에 간단한 기하도형만을 모핑할 수 있는 문제점이 있다.

<21> 한편, 다른 기존의 방법은 민코프스키 연산을 이용하는 것으로, 대한민국 특허 출원번호 제2001-78567호에 개시되어 있다.

<22> 상기 특허 제2001-78567호는, 민코프스키 연산을 이용하므로, 계산식은 간단하고 직관적이지만, 모핑의 중간도형을 많이 생성해야 하는 경우 컴퓨터를 이용한 계산 효율이 상당히 떨어지고, 생성된 도형에 대한 검증이 어렵다는 문제점이 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<23> 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 제반 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로, 방향지도 연산을 응용한 모핑식들을 이용함으로써 모양이 서로 다른 기하도형의 경계선을 보간

하고 기하도형의 모핑속도를 제어하기 위한 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법과 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

- <24> 또한, 본 발명은 모핑 중간에 별도로 추가되는 제어도형을 이용함으로써 특정한 기하도형을 모양이 다른 기하도형으로 부드럽게 모핑하고, 방향지도에 의한 기하학적인 성질을 이용하여 모핑 중간도형의 선분의 방향과 경계선의 길이와 꼭지점의 개수에 대한 조절과 검증이 가능하도록 하기 위한 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법과 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

【발명의 구성 및 작용】

- <25> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 적어도 두 개 이상의 모양이 서로 다른 기하도형을 부드럽게 모핑하기 위하여 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법에 있어서, 상기 기하도형에 대하여, 각각의 방향지도를 추출하는 제 1단계; 상기 방향지도를 병합하는 제 2단계; 병합된 방향지도에 대하여, 그룹단위 크기조절을 수행하는 제 3단계; 및 방향지도의 역함수를 이용하여 다각형을 생성하는 제 4단계를 포함하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 제공한다.

- <26> 또한, 본 발명은 적어도 두 개 이상의 모양이 서로 다른 기하도형을 부드럽게 모핑하기 위하여 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 제공하기 위하여 마이크로프로세서를 구비한 모핑 장치에, 상기 기하도형에 대하여, 각각의 방향지도를 추출하는 제 1기능; 상기 방향지도를 병합하는 제 2기능; 병합된 방향지도에 대하여, 그룹단위 크기조절을 수행하는 제 3기능;

및 방향지도의 역함수를 이용하여 다각형을 생성하는 제 4기능을 실현시키시기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.

- <27> 상술한 목적, 특징들 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조 번호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 한해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 번호를 가지도록 하고 있음에 유의하여야 한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 일실시예를 상세히 설명한다.
- <28> 도 1은 본 발명이 적용되는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 장치의 구조도이다.
- <29> 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명이 적용되는 모핑 장치는, 중앙처리부(110)와, 상기 중앙처리부(110)에 연결된 주기억부(120), 상기 주기억부(120)에 연결된 보조기억부(130), 상기 중앙처리부(110)에 연결된 입력부(140) 및 출력부(150)로 구성되어 있다.
- <30> 본 발명에 따른 기하도형의 모핑방법은 상기 주기억부(120)에 저장되고, 상기 중앙처리부(110)의 제어에 의해 수행된다 할 것이다.
- <31> 도 2는 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법에 의해 모핑하고자 하는 기하도형의 일예시도이다.
- <32> 도면에 도시된 바와 같이, 상단의 기하도형은 시간의 흐름에 따라 하단의 기하도형으로 모핑될 수 있다.
- <33> 이하, 본 발명의 구성 및 작용을 설명하기 위하여 필요한 간단한 수학적 정의를 우선 설명하기로 한다.

- <34> 본 발명에서 기하도형은 정규화된 2차원 다각형을 일컫는다. 여기서, 정규화되었다는 의미는 도형의 경계선에 자기 교차(Self-Intersection)가 발생하지 않으며, 인접한 선분이 동일 직선상에 놓여 있지 않다는 것을 의미하는 것이다.
- <35> 정규화된 2차원 다각형에는 볼록 다각형과 오목 다각형이 있다. 모핑을 위해 주어지는 기하도형을 제어도형 또는 피연산자 도형이라고 한다. 상기 도 2에서의 기하도형들은 모두 정규화된 2차원 다각형들이다.
- <36> 다각형의 i 번째 꼭지점은 아래첨자를 사용하여 p_i 로 표기한다. p_i 의 다음 꼭지점 p_{i+1} 은 시계방향을 따라 결정된다. 즉, 기하도형의 경계선의 방위(Orientation)는 시계방향(Clockwise)이다.
- <37> 기하도형은 식별자를 가지며, 이는 아래첨자로 표기된다. 예를 들어, 식별자 j 에 대해서 A_j 라고 표기한다.
- <38> 도 3은 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑방법을 설명하기 위한 일실시에 흐름도이다.
- <39> 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명의 기하도형의 모핑 방법은 크기조절 및 속도제어 방법을 선택함으로써(S301, S303), 시스템을 초기화한다.
- <40> 이후, 제어도형을 입력하고(S305), 방향지도를 추출한다(S307).
- <41> 상기 방향지도(Direction Map)는 방향 벡터의 순환 리스트(Circular List)로 정의된다. 방향지도에서 i 번째 방향 벡터는 아래첨자를 써서 d_i 로 표기한다. 각 방향 벡터는 벡터 좌표 값 외에 그룹 식별자를 갖는다. 방향 벡터의 그룹 식별자는 추후에 중요하게 사용될 것이다.

- <42> 한 방향지도에 대한 회전연산 R 은 그 방향 벡터들의 시작 벡터를 재결정하는 연산이다.
 n 개의 방향 벡터를 갖는 방향지도 D 의 시작 방향 벡터가 d_0 일 때, $R(D, s)$ 은 D 의 시작 방향 벡터를 $d_{(0+s)\%(n+1)}$ 로 바꾼다. 이때, %는 방향 벡터의 선형 리스트를 고려한 모듈로(modulo) 연산이다.
- <43> 어떤 방향지도에서, 만약 연속으로 인접한 $(m+1)$ 개의 방향벡터들 $d_i, \dots, d_{i+m}, m > 0$ 이 같은 방향인 경우, 다음의 수학적 식 1에서처럼 벡터 덧셈 연산에 의해 하나의 벡터로 병합할 수 있다. 이 때 병합된 새로운 방향벡터를 $d_{i,i+m}$ 이라고 하자.
- <44>
- $$d_{i,i+m} = \sum_{j=0}^m d_j$$
- 【수학적 식 1】
- <45> 어떤 방향지도에서 위 식을 필요에 따라 연속적으로 사용하여 같은 방향의 모든 방향 벡터들을 단일 방향벡터로 병합하는 과정을 방향지도의 자기병합 연산이라고 하고 SM 으로 표기한다.
- <46> 두 방향지도가 서로 같다는 것은, 두 방향지도에 자기병합 연산을 한 후, 한 방향지도의 회전 연산에 의해 두 방향지도의 방향 벡터들이 모두 일치하는 경우이다.
- <47> 자기병합 연산에서 같은 방향의 벡터들의 덧셈 순서가 결과에 영향을 주지 않기 때문에, 같은 방향의 벡터들 정렬 순서만 다르다면 두 방향지도는 같다고 할 수 있다.
- <48> 정규 방향지도(Normalized Direction Map)이란 방향지도의 모든 방향벡터의 크기를 1로 만든 것이다. 정규 방향지도 연산은 N 으로 표기한다.

- <49> 본 발명에 따르면, 기하도형에서 방향지도로의 사상(Mapping)이 가능하다. 본 발명에서는, 한 다각형에서 방향지도로 사상하는 함수를 DM 이라고 표기하고 다각형의 방향지도 추출함수 또는 다각형의 방향지도라고 한다. 상기 DM 에 의하여 방향지도를 추출하게 된다(S307).
- <50> 방향지도 추출함수에 의해 한 다각형의 방향지도를 생성할 수 있다. 다각형 A_j 에 대해서 $DM(A_j)$ 를 해당 A_j 의 방향지도라고 한다. 다각형의 방향지도에서 방향벡터 d_i 는 다각형의 인접한 두 꼭지점들 p_i 와 p_{i+1} 에 대해서 $d_i = (p_{i+1} - p_i)$ 로 정의된다. 이 때, d_i 의 그룹 식별자 값은 기하도형의 식별자인 j 로 설정된다.
- <51> 한 방향지도가 주어졌을 때 다음의 수학식 2에 의해 다각형의 꼭지점을 결정해 나가는 것을 방향지도에 의한 다각형의 생성이라고 한다.
- <52>
$$p_0 = p_{init}$$
 【수학식 2】
$$p_{i+1} = p_i + d_i$$
- <53> 이때, p_{init} 은 첫 번째 꼭지점의 위치로서 다각형의 방향지도의 부가적인 정보이다.
- <54> 상기 수학식 2와 더불어 다각형의 경계선이 닫혀 있다는 닫힘 조건을 만족시켜야 한다. 즉, 만약 $(n+1)$ 개의 방향벡터 d_i 를 갖는 방향지도가 $(n+1)$ 개의 꼭지점들 p_0, \dots, p_n 을 갖는 다각형을 생성을 할 때, 다음 수학식 3과 같이 닫힘 조건을 표현할 수 있다.
- <55> 【수학식 3】
$$p_0 = p_n + d_n$$
- <56> 위 식은 p_{init} 에 상관없이 성립해야 한다. 방향지도에 의한 다각형의 생성에서 닫힘 조건을 만족시키지 않는다면 그 방향지도는 다각형의 방향지도라고 할 수 없다.

<57> 방향지도에 의한 다각형의 생성에서 닫힘 조건을 만족시키는 경우라도, 생성된 다각형이 반드시 정규화 다각형인 것은 아니다. 특히, 경계선의 자기교차는 방향지도에 의한 다각형의 생성과정에서 확인하기 까다롭다.

<58> 자기교차가 없다는 가정 하에 다각형의 인접한 선분들이 동일직선상에 놓이지 않도록 하여 정규화 다각형을 생성하는 것은 쉽게 가능하다. 이를 위해서는 방향지도의 자기병합 연산이 필요하다.

<59> 위와 같이 방향지도의 자기 병합에 의해, 동일직선상에 놓인 $(m+1)$ 개의 다각형의 꼭지점들을 생성하는 대신, 다음의 수학적 식 4에서처럼 한 개의 꼭지점 p_{i+m+1} 만을 생성하면 정규화된 다각형의 생성이 가능하다.

<60>

$$p_{i+m+1} = p_i + \sum_{j=0}^m d_j$$

【수학적 식 4】

<61> 방향지도에 의한 다각형 생성에서 최종 조건은 생성된 다각형의 경계선의 방위이다. 위에서 시계방향 방위를 가정하였기 때문에, 만약 생성된 다각형의 경계선의 방위가 반시계방향 이라면 방향지도의 방향 벡터의 정렬 순서를 역으로 하거나, 생성된 다각형의 꼭지점의 정렬을 역으로 하면 된다. 특별한 언급이 없다면 방위 조건은 만족시킨다고 가정한다.

<62> 위에서 설명한 방향지도에 의한 다각형의 생성 방법을 이용하여 방향지도에서 기하도형으로의 사상이 가능하다. 이러한 사상을 방향지도 추출함수 DM 의 역함수라고 정의하고 방향지도 역함수라고 한다. 표기는 어떤 방향지도 D 에 대해서 $DM^{-1}(D)$ 으로 한다.

<63> 방향지도에 의한 다각형 생성에 있어서 닫힘 조건을 만족시키는 경우만 방향지도 역함수의 정의가 가능하다.

<64> 임의의 방향지도 D 에 대해서 방향지도 역함수 $DM^{-1}(D)$ 의 정의가 가능하다면 그 방향지도는 다각형 A 의 방향지도라고 할 수 있다. 또한, A 의 방향지도는 D 와 동일하다. 즉, 다음의 수학적 식 5와 같이 표현할 수 있다.

<65>

$$DM^{-1}(D) = A$$

【수학적 식 5】 $DM(A) = DM(DM^{-1}(D)) = D$

<66> 블록 다각형의 방향지도를 표현하는 방향 벡터의 순환 리스트는 인접한 벡터들이 벡터곱(Vector Product)에 의한 다음의 수학적 식 6에 의해 시계방향으로 정렬된다.

<67> 【수학적 식 6】 $d_i \times d_{i+1} = x_i y_{i+1} - y_i x_{i+1} \leq 0$

<68> 위 식에서 등식이 성립하는 경우는 인접한 두 방향 벡터들이 동일직선상에 놓인 경우이다. 이러한 경우는 아래의 설명에서처럼 방향지도의 병합에 의해서 발생할 수 있다. 동일직선상에 놓인 방향 벡터들의 정렬 순서가 의미가 없다.

<69> 특히, 부등식만으로 정렬되는 경우를 강한 블록 정렬조건이 성립한다고 한다. 이와 구별을 위해 등식이 성립하는 조건을 약한 블록 정렬조건이라고 한다.

<70> 블록 다각형이 아닌 경우에는 방향 벡터의 순환 리스트에서의 정렬 순서가 다각형의 시계 방향으로의 선분의 순서와 일치하지만 인접한 선분과의 블록 및 오목 관계에 의해 정렬조건이 달라진다. 즉, 블록한 부분이면 $d_i \times d_{i+1} \leq 0$, 오목한 부분이면 $d_i \times d_{i+1} \geq 0$ 의 관계가 성립한다.

<71> 이 경우 위와 비슷하게 강한 오목 정렬조건과 약한 오목 정렬조건을 정의할 수 있다.

<72> 다시, 도 3에서, 상기에서 추출한 방향지도를 병합한다(S309).

- <73> 두 방향지도들의 병합 연산(Merge Operation)은 "+"로 표기한다. 방향 지도의 병합 연산에 의해 두 방향 지도들은 하나의 방향지도로 합쳐진다.
- <74> 즉, 두개의 벡터의 순환 리스트가 적당한 정렬 조건을 만족시키면서 병합되어 하나의 벡터의 순환 리스트가 된다. 병합연산을 통해 방향벡터는 순서가 재정렬 되는데, 정렬 조건은 피연산자 방향지도의 블록/오목 정렬 조건에 따라 달라진다.
- <75> 우선, 대략적인 방향지도의 병합 방법을 설명하면 다음과 같다.
- <76> 아래서 블록/오목 정렬조건은 콘볼루션 연산을 다각형에 적용한 것과 그 결과가 같도록 정의하였다. 민코프스키 연산의 결과의 경계선이 콘볼루션 연산의 부분집합인 관계를 고려할 때, 이러한 정렬조건을 사용하면 방향지도에 의한 기하도형의 모핑의 결과는 민코프스키 연산의 결과와 같게 된다.
- <77> 방향지도 병합을 위한 방향벡터의 정렬조건은 콘볼루션 연산의 정의를 따르지 않고도 가능하다. 특히, 제어도형들의 오목한 부분이 모핑 중간도형에서 중첩되어 나타나는 효과를 방지하기 위해서는 별도의 정렬조건이 사용이 필요하다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 언급하기로 한다.
- <78> 두 다각형 A_i 와 A_k 에 대해서, 각각의 방향 지도가 $DM(A_i) = D_i$ 와 $DM(A_k) = D_k$ 라 할 때, 이들을 병합 연산하는 것은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.
- <79> 【수학식 7】 $DM(A_i) + DM(A_k) = D_i + D_k$
- <80> 병합된 방향지도에서 각 방향 벡터는 원래의 그룹 식별자 값을 유지한다. 방향지도의 병합연산은 피연산자의 순서에 관계없이 결과가 같다.

<81> 두 방향지도가 모두 블록 다각형을 생성할 수 있다면, 병합된 방향지도의 방향벡터들은 모두 블록 정렬조건을 만족시키도록 방향벡터들을 다시 정렬하여야 한다. 예를 들어, D_l 와 D_m 의 방향벡터 d_l 과 d_m 에 대해서, 같은 방향이 아닌 d_l 과 d_{l+1} 사이에 d_m 이 오도록 재정렬 되는 경우는 다음 수학식 8의 블록 병합 정렬조건을 만족시키는 경우이다.

$$\begin{aligned} <82> \quad d_l \times d_{l+1} = x_l y_{l+1} - y_l x_{l+1} < 0 \\ & \quad d_l \times d_m = x_l y_m - y_l x_m \leq 0 \\ & \text{【수학식 8】} \quad d_m \times d_{l+1} = x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} \leq 0 \end{aligned}$$

<83> 만약 위식을 만족시킨다면 d_{m+1} 에 대해서 관계를 따져본다. 만약, d_m 이 d_l 과 d_{l+1} 의 사이에 있지 않고 시계방향 바깥쪽에 있다면 다음의 수학식 9의 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} <84> \quad d_l \times d_m = x_l y_m - y_l x_m > 0 \\ & \text{【수학식 9】} \quad d_m \times d_{l+1} = x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} > 0 \end{aligned}$$

<85> 이 때는 d_{l+1} 과 d_{l+2} 및 d_m 에 대해서 블록 병합 정렬조건을 따져 본다. 이런 과정을 순차적으로 적용하여 두 방향지도의 방향벡터를 병합해 나갈 수 있다. 이렇게 하면 병합된 방향지도는 블록 정렬조건을 만족시킨다.

<86> 도 4는 본 발명에 따라 사각형과 마름모 제어도형에 대해서 방향지도 병합을 순차적으로 적용하는 예를 설명하기 위한 일예시도이다.

<87> 이하, 도 5를 참조하여 방향지도의 병합 방법을 상세히 설명하도록 한다.

<88> 도 5는 상기 도 3의 방향지도 병합을 설명하기 위한 일실시에 상세 흐름도이다.

<89> 도면에 도시된 바와 같이, 본 발명의 방향지도 병합 방법(S309)은, 먼저 병합 초기조건을 확인한다(S501).

- <90> 도 6a 내지 도 6d는 상기 도 5의 초기조건을 설명하기 위한 일예시도이다.
- <91> D_j 와 D_k 의 첫 방향벡터가 d_{ls} 와 d_{ms} 이고, 마지막 방향벡터가 d_{le} 와 d_{me} 일 때, 도면에 도시된 바와 같이, 네 가지 중에 한 가지 경우가 되도록 방향지도를 회전한다(S503).
- <92> 방향지도 병합연산의 두 피연산자가 모두 오목 다각형을 생성하는 방향지도일 때는 계산이 매우 복잡해지는 문제가 발생하는데, 이는 모핑 중간도형의 효율적인 계산을 위해서나 결과도형의 품질을 위해서나 적합한 과정이 아니다. 따라서, 오목 특징형성을 위한 전처리를 수행한다(S505).
- <93> 이를 위해서, 본 발명의 일실시예에서는, 콘볼루션 연산의 정의를 따르는 경우에는, 제어도형을 모두 볼록한 부분집합으로 분해(Convex Decomposition)하여 방향지도에 의한 기하모핑을 적용하고 최종결과를 합(union)하는 등의 처리를 가할 수 있다. 볼록한 부분집합으로의 분해 및 합연산은 기하도형을 위한 일반적인 처리과정으로 쉽게 적용이 가능하다. 이를 오목 특징형상을 위한 볼록 분해 방법이라고 한다.
- <94> 콘볼루션 정의를 따르지 않는 병합 정렬조건으로는 오목 다각형의 최소볼록집합(convex hull)을 이용하는 방법이 있다. 즉, 제어도형의 최소볼록 집합에 대한 방향지도를 구하고 이를 병합하여 방향지도에 의한 다각형을 생성한 후 이 다각형의 선분에서 원래 오목한 부분을 대신한 부분을 원래의 오목 특징형상으로 대체하는 방법이다.
- <95> 이를 오목 특징형상을 위한 최소볼록집합 대체 방법이라고 하며, 이 방법은 오목 특징형상사이의 간섭이나 계산과정에서 필요한 자기교차 및 상호교차 제거가 필요 없는 장점이 있다.
- <96> 이후, 방향벡터를 정렬하는데(S507), 두 방향지도가 모두 볼록 다각형을 생성하는 경우에는 상기 수학식 8 및 상기 수학식 9에 의하여 방향벡터를 정렬할 수 있다.

<97> 그러나, 방향지도 병합연산의 피연산자가 오목 다각형을 생성하는 방향지도를 포함할 때에는, 블록 다각형을 생성하는 방향지도의 경우보다 방향지도의 병합 연산이 복잡해진다.

<98> 예를 들어, D_j 와 D_k 의 두 방향지도에서 D_j 는 오목 다각형을 생성하는 방향지도이고 D_k 는 블록 다각형을 생성하는 방향지도일 때, 방향벡터 d_l 과 인접한 d_{l+1} 의 블록여부에 따라 방향벡터의 병합 정렬조건이 달라진다.

<99> 이 경우, 상기 수학식 8은 다음의 수학식 10으로 대체될 수 있다.

$$\begin{aligned} d_l \times d_{l+1} &= x_l y_{l+1} - y_l x_{l+1} > 0 \\ d_l \times d_m &= x_l y_m - y_l x_m \geq 0 \\ \text{【수학식 10】 } d_m \times d_{l+1} &= x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} \geq 0 \end{aligned}$$

<101> 만약 위식을 만족시킨다면 d_{m-1} 에 대해서 관계를 따져본다. 만약, d_m 이 d_l 과 d_{l+1} 의 사이에 있지 않고 시계 반대방향 바깥쪽에 있다면 아래 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} d_l \times d_m &= x_l y_m - y_l x_m < 0 \\ \text{【수학식 11】 } d_m \times d_{l+1} &= x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} < 0 \end{aligned}$$

<103> 이 때는 d_{l+1} 과 d_{l+2} 및 d_m 에 대해서 오목 또는 블록 병합 정렬조건을 따져 본다. 즉, A_l 의 블록한 부분에 해당하는 부분에서 d_m 은 순방향으로 진행하고 오목한 부분에서는 역방향으로 진행하는 차이가 있다.

<104> 마지막으로, 방향벡터를 병합하여(S509), 정규 다각형을 생성하게 된다.

<105> 다시, 상기 도 3에서, 방향지도를 병합한 후(S309), 오목 특징형상을 위한 트리밍을 수행하게 된다(S311)

- <106> 도 7은 본 발명에 따라 오목한 특징형상이 있는 제어도형에 대하여 대해서 방향지도 병합을 순차적으로 적용하는 예를 설명하기 위한 일예시도이며, 도 8은 상기 도 7의 병합과정 중 자기교차가 발생한 경우를 설명하기 위한 일예시도이며, 도 9는 상기 도 8의 자기교차를 제거하는 과정을 설명하기 위한 일예시도이다.
- <107> 도면에 도시된 바와 같이, 오목한 특징형상이 있는 제어도형의 경우, 병합된 방향지도에 의한 다각형 생성에 의해 정규 다각형이 생성되지 않는다.
- <108> 생성된 도형에서는 상기 도 7과 같이 자기 교차가 발생하는데, 이 부분을 제거하는 위한 트리밍(trimming) 연산을 적용하면 정규 다각형을 얻을 수 있다. 이 방법을 오목 특징형상(feature)을 위한 트리밍 방법이라고 하며, 상기 도 8에서와 같이 자기교차를 모두 제거할 수 있다.
- <109> 상기 오목 특징형상을 위한 트리밍은, 필요한 경우에 한하여 수행될 수 있다.
- <110> 다시, 상기 도 3에서, 그룹단위의 크기를 조절한다(S313).
- <111> 방향지도의 방향벡터는 그룹 식별자 값을 갖도록 되어 있고 이 값은 방향지도가 병합된 후에도 특별한 이유가 없는 한 유지하도록 되어 있다. 이 값을 이용하여 방향지도의 방향벡터에 대한 그룹단위 크기조절연산(Scaling)을 행할 수 있다.
- <112> 벡터의 크기조절연산은 벡터의 좌표값에 스칼라 값을 곱하여 벡터의 크기를 조절하는 것이다. 그룹단위 크기조절연산은 각 방향벡터 그룹에 그룹 단위의 스칼라 값을 곱할 수 있도록 하는 것이다.
- <113> 그룹단위 크기조절연산은 GS로 표기하며 2개의 인수를 필요로 한다.

<114> 첫 번째는 방향지도이고, 두 번째는 각 그룹에 적용할 크기조절을 위한 스칼라 함수 (t)의 리스트이다. 크기조절 함수의 아래 첨자 값은 크기조절 함수를 적용할 그룹 식별자를 의미한다. 예를 들어 다음과 같이 표기할 수 있다.

<115>

$$GS(D_{lm}, (S_l(t), S_m(t))),$$

$$S_l(t) = 1 - t,$$

$$S_m(t) = t.$$

【수학식 12】

<116> 위식은 D_l 과 D_m 의 병합의 결과인 D_{lm} 에 대해서 l 그룹의 방향벡터들에 $(1-t)$ 배, m 그룹에 t 배의 벡터 크기조절 연산을 수행하는 것이다.

<117> 특히, 위의 방법으로 크기조절을 하는 기하 도형의 모핑을 방향지도에 의한 기하도형의 선형 보간이라고 한다. 크기조절 함수들 $S_l(t)$ 의 관계에 따라 다양한 보간 방법을 고안할 수 있다.

<118> 기존의 특허에서 제시한 속도 조절도 상기에서 설명한 크기조절 함수들의 관계를 조절하여 구현할 수 있다. N 개의 모핑 중간도형을 선형 속도로 생성하는 경우라면, n 번째 모핑 중간도형의 크기조절을 위한 스칼라 함수 리스트를 다음의 수학식 13과 같이 정의할 수 있다.

<119>

$$(S_l(t), S_m(t)) = (1 - t, t) = (1 - t(n), t(n))$$

$$t(n) = \frac{n}{N+1}, (0 < n < N+1)$$

【수학식 13】

<120> 상기 도 4 및 상기 도 8은 위의 선형 보간을 통해 t 값을 변화시키며 9개의 모핑 중간도형을 생성한 일실시예이다.

<121> 만약, 특정 제어 도형으로의 수렴을 빨리하려면 크기조절을 위한 스칼라 함수들에 관계를 변형하여 속도를 제어하면 된다. 예를 들어, 제어도형 A_l 으로 수렴 속도를 증가시키려면 다음 수학적 식 14의 스칼라 함수 리스트를 사용하면 된다.

$$\begin{aligned}
 (S_l(t), S_m(t)) &= \frac{1}{s(1-t) + t} (s(1-t), t) \\
 &= \frac{1}{s(1-t) + t} (s(1-t(n)), t(n)), \\
 t(n) &= \frac{n}{N+1}, (0 < n < N+1)
 \end{aligned}$$

【수학적 식 14】

<123> 도 10a 내지 도 10c는 본 발명에 따른 모핑 속도 제어의 동작원리를 설명하기 위한 일실시에 그래프이다.

<124> 도 10a에 도시된 바와 같이, s 의 값이 1이면 속도제어가 없을 때이며, 도 10b에 도시된 바와 같이 s 의 값이 1보다 작으면 A_m 으로 수렴속도가 빨라지고, 또한, 도 10c에 도시된 바와 같이 s 값이 1보다 크면 A_l 로의 수렴 속도가 빨라진다.

<125> 위 방법은 속도조절 방법의 한 예일 뿐, 크기조절을 위한 스칼라 함수들에 관계를 변형 방법에 따라 다양하게 고안할 수 있다.

<126> 도 11은 본 발명에 따라 모핑 속도가 제어되는 기하도형을 설명하기 위한 일예시도로서, 중간도형의 생성 속도를 달리한 예를 보여준다.

<127> 다시, 도 3에서, 병합된 방향지도를 이용하여, 다각형을 생성한다(S315). 다각형 생성에 대한 이론은 위에서 설명한 일반적인 방향지도에 의한 다각형 생성 방법을 따르면 된다.

<128> 이하, 지금까지의 설명을 바탕으로 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

- <129> 첫째, 생성할 모핑 중간도형의 개수와 그에 상응하는 그룹단위 크기조절 방식(S301) 및 속도제어 방식(S303)을 결정한다.
- <130> 둘째, 입력된 두 다각형 A_l 과 A_m 에 대해서(S305), 각각의 방향지도 $DM(A_l) = D_l$ 과 $DM(A_m) = D_m$ 을 추출한다(S307).
- <131> 셋째, 다음의 수학적 식 15와 같이, 상기 두 방향지도를 병합하여 새로운 방향지도 \overline{D} 를 생성한다(S309).
- <132> 【수학적 식 15】 $\overline{D} = D_l + D_m = DM(A_l) + DM(A_m)$
- <133> 넷째, 그룹단위 크기조절 연산을 수행하여 새로운 방향지도를 얻는다(S313). 예를 들어, 선형 보간의 경우에는, 다음의 수학적 식 16을 적용할 수 있다.
- <134> 【수학적 식 16】 $D(t) = GS(\overline{D}, (S_l(t), S_m(t))) = GS(\overline{D}, (1-t, t))$
- <135> 다섯째, 방향지도에 의하여 다각형을 생성한다(S315). 즉, 방향지도의 역함수를 이용하여 크기조절 인수 t 에 대해 모핑 중간도형 $A(t)$ 를 계산할 수 있다. 이 경우에, 다음의 수학적 식 17을 사용할 수 있다.
- <136> 【수학적 식 17】 $A(t) = DM^{-1}(D(t))$
- <137> 여섯째, 모핑 중간도형의 계속 생성을 위하여, 네번째 단계부터 크기 조절 인수값을 변화시키며 반복 수행한다(S317).

<138> 본 발명에 따른 기하도형의 모핑 방법은, 민코프스키 연산에 근거한 기존의 방법에 비해 빠르고 효율적이다. 이를 설명하기 위해서는 민코프스키 연산에 근거한 기하 도형의 모핑 방법을 상기 방법으로 설명하는 것이 필요하다.

<139> 민코프스키 연산은 콘볼루션 연산과의 관계에 의해 그 결과의 경계선이 방향지도에 의한 생성된 다각형의 경계선과 일치할 수 있다. 그러므로, 민코프스키 연산에 근거한 기하도형의 선형 보간식은 상기 방향지도에 근거한 선형 보간 방법으로 다음과 같이 표기할 수 있다.

<140>

$$\begin{aligned}
 (1-t)A_0 \oplus tA_1 &= DM^{-1}(GS((DM(A_0) + DM(A_1)), (1-t, t))) \\
 &= DM^{-1}(GS(D_0 + D_1, (1-t, t))) \\
 &= DM^{-1}(GS(D, (1-t, t))) \\
 &= DM^{-1}(D(t)) \\
 &= A(t)
 \end{aligned}$$

【수학식 18】

<141> 위식에서 주목할 점은 t 의 값이 변할 수 있다는 것이다. 민코프스키 연산을 이용한 기존의 보간 방법에서는 먼저 도형에 $(1-t)$ 배와 t 배만큼의 크기조절 연산을 행한 후 민코프스키 연산을 수행하게 된다. 도형의 크기에 상관없이 모양만 같으면 민코프스키 연산은 내부 수행 절차가 동일함에도 불구하고, 비슷한 연산을 t 값에 따라 반복하여 수행해야 하는 문제점이 있다.

<142> 만약 N 개의 모핑 중간도형을 생성해야 한다면, $2N$ 번의 크기조절연산과 N 번의 민코프스키 연산을 수행해야 한다.

<143> 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 모핑 방법은, 먼저 두 방향지도를 병합하는데, 이는 크기조절 인수 t 의 값에 상관없이 일정하다. 즉, 병합연산은 한번만 수행하면 되고, 이 병합된 방향지도에 대한 그룹단위 크기조절을 t 값에 대해서 수행하면 되는 것이다.

- <144> 따라서, 만약 N 개의 모핑 중간도형을 생성해야 한다면, 그룹단위 크기조절에 의한 $2N$ 번의 크기조절연산과 한번의 방향지도 병합연산을 수행하면 된다.
- <145> 어떤 t 값에 대해서 종래의 민코프스키 연산에 의한 기하도형의 선형 보간은 방향지도 병합 한번과 크기조절 연산 2번에 해당한다. 그러므로, M 개의 서로 다른 t 값에 대해서 민코프스키 연산에 의한 기하도형의 선형 보간을 수행하는 것은 $2M$ 번의 크기조절연산과 M 번의 방향지도 병합을 수행하는 것과 같다.
- <146> 그러나, 본 발명에 따른 방향지도에 의한 모핑 방법을 이용한다면 단 한번의 방향지도 병합 연산을 수행하고 이를 서로 다른 t 값에서 재사용할 수 있다. 그러므로 상기 방향지도에 의한 기하도형의 선형 보간 방법은 기존의 민코프스키 연산에 의한 기하도형의 선형 보간 방법에 비해 빠르고 효율적이다.
- <147> 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 이용하면, 생성되는 모핑 중간도형의 정규 방향지도가 모두 동일함을 설명할 수 있다. 이는 다음의 수학식 19와 같이 표현할 수 있다.

<148>

$$\begin{aligned}
 N(DM(A(t))) &= N(DM(DM^{-1}(D(t)))) \\
 &= N(D(t)) \\
 &= N(\bar{D})
 \end{aligned}$$

【수학식 19】

- <149> 위식은 어떠한 모핑 중간도형에 대해서도 그 정규 방향지도는 제어도형의 방향지도를 병합한 \bar{D} 의 정규 방향지도에 해당한다는 것을 의미한다. 또한, 이 식이 의미하는 것은 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑에서 생성되는 모핑 중간도형은 선분의 길이에 의해 그 모양의 특성이 결정됨을 의미한다.

<150> 위 관계는 모핑 중간도형의 검증에 사용할 수 있다. 이 방법을 "정규 방향지도에 의한 검증법"이라고 한다.

<151> 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 이용하면 생성되는 모핑 중간도형의 선분의 개수가 일정함을 설명할 수 있다. 주어진 제어도형 A_l 과 A_m 의 꼭지점의 개수가 각각 N_l 과 N_m 이고, 방향이 같은 선분의 쌍이 N_c 개 있을 때, 두 제어도형의 방향지도를 병합하여 생성한 새로운 다각형의 꼭지점의 개수 N_{lm} 는 다음의 수학식 20과 같다.

<152> 【수학식 20】
$$N_{lm} = N_l + N_m - N_c$$

<153> 이 관계는 모핑 중간도형의 검증에 사용할 수 있다. 이 방법을 "꼭지점 개수에 의한 검증법"이라고 한다.

<154> 또한, 본 발명에 따른 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 이용하면, 생성되는 모핑 중간도형의 경계선의 길이의 변화를 조절 할 수 있다.

<155> 주어진 제어도형 A_l 과 A_m 의 경계선의 길이가 각각 L_l 과 L_m 일 때, 두 제어도형의 방향지도를 병합하여 생성한 새로운 다각형 A_{lm} 의 경계선의 길이 L_{lm} 는 L_l 과 L_m 을 보간한다.

<156> 특히, 병합한 방향지도에 그룹단위 크기조절연산을 할 때, 선형 관계를 두면 L_{lm} 는 L_l 과 L_m 를 선형 보간할 수 있다. 이는 다음의 수학식 21과 같이 표현할 수 있다.

<157>
$$A_{lm} = DM^{-1}(GS((DM(A_l) + DM(A_m)), (1-t, t))),$$

 【수학식 21】
$$L_{lm} = (1-t)L_l + tL_m$$

<158> 이 관계도 모핑 중간 도형의 검증에 사용할 수 있다. 이 관계에 의해, 만약 두 제어도형의 경계선의 길이가 서로 같다면, 방향지도에 의한 선형보간으로 생성한 모핑 중간 도형의 경계선의 길이는 크기조절 인수값에 상관없이 제어도형의 경계선의 길이와 항상 같다. 이 방법을 "경계선 길이에 의한 검증법"이라고 한다.

<159> 제어도형이 오목한 특징형상을 갖는 경우, 상기의 정규방향지도, 꼭지점 개수, 경계선 길이에 의한 검증 방법들은 제어도형의 최소불특집합에 대해서 적용한다.

<160> 상기 방향지도에 의한 기하도형의 모핑 방법에서 제어도형이 2개 이상이어도 상관없다. 예를 들어, ($M+1$) 개의 제어도형들 $A_i (0 \leq i \leq M)$ 에 대해서 M 차 변슈타인 다항식 (Bernstein polynomial)을 크기조절을 위한 스칼라 함수로 이용하면 M 차 베지어 제어가 가능하다. 이는 다음의 수학식 22를 이용하여 표현할 수 있다.

<161>

$$A(t) = DM^{-1} (SG(\underline{D}, (B_0^M(t), \dots, B_M^M(t)))$$

$$\underline{D} = \sum_{i=0}^M DM(A_i) = \sum_{i=0}^M D_i,$$

$$B_i^M(t) = \binom{M}{i} t^i (1-t)^{M-i}$$

【수학식 22】

<162> 위식을 방향지도를 이용한 기하도형 모핑의 M 차 베지어 제어라고 한다. 위식에서 2개 이상의 방향지도를 병합하는 경우는 순서에 상관없이 순차적인 병합과정을 거치는 것이 일반적이다. 예를 들어, 다음 수학식 23과 같은 계산을 해주면 된다.

<163>

【수학식 23】 $\overline{D} = (\dots((D_0 + D_1) + D_2) + D_3) \dots) + D_M$

<164> 도 12는 본 발명에 따라 4개의 제어도형에 대해서 모핑 중간도형을 생성하는 것을 설명하기 위한 일예시도로서, 3차 베지어 제어를 적용한 것을 설명하기 위한 것이다.

<165> 베지어 제어를 보다 일반화시킨 것이 블러섬(Blossom) 제어 이론이다. 블러섬 제어에서는 크기조절을 위한 스칼라 함수의 인수가 한개의 t 로 정의되는 것이 아니라 독립적인 M 개의 인수들 $t_i (0 \leq i \leq M)$ 가 사용된다.

<166> 예를 들어, 재귀적으로 정의되는 3차 블러섬 $A_0^3[t_1, t_2, t_3]$ 을 명시적으로 표현하면 다음 수학식 24와 같이 표현될 수 있다.

<167>

$$A_0^3[t_1, t_2, t_3] = (1-t_1)(1-t_2)(1-t_3)A_0 + (t_1(1-t_2)(1-t_3) + t_2(1-t_1)(1-t_3) + t_3(1-t_1)(1-t_2))A_1 + (t_1t_2(1-t_3) + t_1t_3(1-t_2) + t_2t_3(1-t_1))A_2 + t_1t_2t_3A_3$$

【수학식 24】

<168> 위식은 다음 수학식 25와 같은 블러섬의 3차 기저함수 $B_i^3(t_1, t_2, t_3)$ 를 이용하여 다음 수학식 26과 같이 간략하게 표현할 수 있다.

<169>

$$\begin{aligned} B_0^3(t_1, t_2, t_3) &= (1-t_1)(1-t_2)(1-t_3) \\ B_1^3(t_1, t_2, t_3) &= t_1(1-t_2)(1-t_3) + t_2(1-t_1)(1-t_3) + t_3(1-t_1)(1-t_2) \\ B_2^3(t_1, t_2, t_3) &= t_1t_2(1-t_3) + t_1t_3(1-t_2) + t_2t_3(1-t_1) \\ B_3^3(t_1, t_2, t_3) &= t_1t_2t_3 \end{aligned}$$

【수학식 25】

<170>

$$A_0^3[t_1, t_2, t_3] = B_0^M(t_1, t_2, t_3)A_0 + B_1^M(t_1, t_2, t_3)A_1 + B_2^M(t_1, t_2, t_3)A_2 + B_3^M(t_1, t_2, t_3)A_3$$

【수학식 26】

<171> 상기 수학식 26을 이용하여 방향지도를 이용한 기하도형 모핑의 3차 블러섬 제어식을 아래 수학식 27과 같이 쓸 수 있다.

<172>

$$\begin{aligned} A(t_1, t_2, t_3) &= A_0^3[t_1, t_2, t_3] \\ &= DM^{-1}(SG(\mathcal{D}, (B_0^3(t_1, t_2, t_3), \dots, B_3^3(t_1, t_2, t_3)))) \end{aligned}$$

【수학식 27】

<173> 방향지도를 이용한 기하도형 모핑의 블러섬 제어방법에서는, 블러섬의 기저함수가 크기 조절을 위한 스칼라 함수로 사용된다.

<174> M차 블러섬의 i번째 기저함수는 아래와 같은 수학식 28로 나타내어진다.

<175>

$$B_i^M(t_1, t_2, \dots, t_M) = \sum_{T_1, T_2} \left(\prod_{j \in T_1} t_j \prod_{k \in T_2} (1 - t_k) \right)$$

$|T_1| = i, T_1 \cap T_2 = \emptyset, T_1 \cup T_2 = \{1, 2, \dots, M\}$

【수학식 28】

<176> 위의 M차 블러섬의 기저함수를 크기조절을 위한 스칼라 함수로 이용하여 방향지도를 이용한 기하도형 모핑의 M차 블러섬 제어식을 아래와 같이 쓸 수 있다.

<177>

$$A(t_1, t_2, \dots, t_M) = A_0^M[t_1, t_2, \dots, t_M]$$

$$= DM^{-1}(SG(\mathcal{D}, (B_0^M(t_1, t_2, \dots, t_M), \dots, B_M^M(t_1, t_2, \dots, t_M))))$$

【수학식 29】

<178> M차 블러섬의 기저함수에서 모든 인수가 같을 경우는($t_i = t (1 \leq i \leq M)$), M차 변 슈타인 다항식이 된다. 이는 아래 수학식 30과 같다.

<179>

$$B_i^M(t_1, t_2, \dots, t_M) = \sum_{T_1, T_2} \left(\prod_{j \in T_1} t \cdot \prod_{k \in T_2} (1 - t) \right) = \sum_{T_1, T_2} t^{|T_1|} (1 - t)^{|T_2|}$$

$$= \binom{|T_1| + |T_2|}{|T_1|} t^{|T_1|} (1 - t)^{|T_2|}$$

$$= \binom{M}{i} t^i (1 - t)^{M-i} = B_i^M(t)$$

【수학식 30】

<180> 위식을 통해 방향지도를 이용한 기하도형 모핑의 M차 블러섬 제어의 특수한 경우가 방향 지도를 이용한 기하도형 모핑의 M차 베지어 제어임을 알 수 있다.

<181> 도 13은 본 발명에 따라 3개의 제어도형에 대해서 모핑 중간도형을 생성하는 것을 설명 하기 위한 일예시도로서, 3개의 제어도형에 대한 2차 블러섬 제어를 설명하기 위한 것이다

- <182> 상술한 바와 같은 본 발명의 방법은 프로그램으로 구현되어 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체(씨디롬, 램, 롬, 플로피 디스크, 하드 디스크, 광자기 디스크 등)에 저장될 수 있다.
- <183> 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하므로 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되는 것이 아니다.

【발명의 효과】

- <184> 상기와 같은 본 발명은, 모양이 서로 다른 기하도형으로부터 방향지도를 추출하여 이를 방향지도 병합연산을 적용하고, 그룹단위 크기조절 연산을 적용하고, 방향지도 역함수를 통해 다각형을 생성함으로써, 특정한 기하도형을 모양이 다른 기하도형으로 부드럽게 모핑할 수 있도록 하는 효과가 있다.
- <185> 또한, 본 발명은 오목 특징형상에 대한 처리를 하여 기하도형의 경계선을 보간하고, 기하도형의 모핑속도를 제어하며 별도로 추가되는 제어도형에 대해 베지어 또는 블러섬 제어를 이용함으로써, 모핑 중간도형의 선분의 방향과 경계선의 길이와 꼭지점의 개수에 대한 조절 및 검증이 가능할 수 있도록 하는 효과가 있다.
- <186> 나아가 본 발명은, 기하도형의 복잡한 대수학적 성질을 이용하지 않고, 기존의 민코프스키 연산의 계산의 비효율성을 극복함으로써, 다양하고 복잡한 모양의 기하도형의 모핑 중간도형의 모양과 속도를 제어하면서 기하도형을 빠르고 안정적으로 모핑할 수 있도록 하는 효과가 있다.

【특허청구범위】

【청구항 1】

적어도 두 개 이상의 모양이 서로 다른 기하도형을 부드럽게 모핑하기 위하여 방향지도
를 이용한 기하도형의 모핑 방법에 있어서,

상기 기하도형에 대하여, 각각의 방향지도를 추출하는 제 1단계;

상기 방향지도를 병합하는 제 2단계;

병합된 방향지도에 대하여, 그룹단위 크기조절을 수행하는 제 3단계; 및

방향지도의 역함수를 이용하여 다각형을 생성하는 제 4단계

를 포함하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 2】

제 1항에 있어서,

생성할 모핑 중간도형의 개수와, 그에 상응하는 그룹단위 크기조절 방식 및 속도제어
방식을 결정하는 제 5단계

를 더 포함하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 3】

제 1항에 있어서,

크기조절의 인수값을 변화시키며 상기 제 3단계 및 상기 제 4단계를 반복하여 수행하는
제 5단계

를 더 포함하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 4】

제 1항에 있어서,

상기 방향지도는,

방향벡터의 순환 리스트로 정의되며, 하기의 식에 의해 정렬되는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$d_i \times d_{i+1} = x_i y_{i+1} - y_i x_{i+1} \leq 0$$

(단, d_i 는 i 번째 방향 벡터이며, x_i, y_i 는 각각 d_i 의 좌표값임)

【청구항 5】

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 2단계는,

병합 초기조건을 확인하고, 이에 적합하도록 방향지도를 회전하는 제 6단계;

방향벡터를 정렬하는 제 7단계; 및

방향벡터를 병합하는 제 8단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 6】

제 5항에 있어서,

병합하고자 하는 방향지도가 모두 오목 다각형을 생성하는 경우에는, 제어도형을 모두 볼록한 부분집합으로 분해하여 상기 제 7단계 및 상기 제 8단계를 수행하는 제 9단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 7】

제 5항에 있어서,

병합하고자 하는 방향지도가 모두 오목 다각형을 생성하는 경우에는, 제어도형의 최소 볼록 집합에 대한 방향지도를 구하여 상기 제 7단계 및 상기 제 8단계를 수행하는 제 9단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 8】

제 5항에 있어서,

병합하고자 하는 방향지도가 모두 볼록 다각형을 생성하는 경우에는, 하기의 두 수학적식을 만족하도록 정렬하는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}d_i \times d_{i+1} &= x_i y_{i+1} - y_i x_{i+1} < 0 \\d_i \times d_m &= x_i y_m - y_i x_m \leq 0 \\d_m \times d_{i+1} &= x_m y_{i+1} - y_m x_{i+1} \leq 0\end{aligned}$$

$$d_l \times d_m = x_l y_m - y_l x_m > 0$$

$$d_m \times d_{l+1} = x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} > 0$$

【청구항 9】

제 5항에 있어서,

병합하고자 하는 방향지도가 모두 볼록 다각형을 생성하는 것이 아닌 경우에는, 하기의 두 수학적식을 만족하도록 정렬하는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$d_l \times d_{l+1} = x_l y_{l+1} - y_l x_{l+1} > 0$$

$$d_l \times d_m = x_l y_m - y_l x_m \geq 0$$

$$d_m \times d_{l+1} = x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} \geq 0$$

$$d_l \times d_m = x_l y_m - y_l x_m < 0$$

$$d_m \times d_{l+1} = x_m y_{l+1} - y_m x_{l+1} < 0$$

【청구항 10】

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 3단계의 크기조절은,

하기의 수학적식에 의하여 선형 보간되는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$GS(D_{im}, (S_i(t), S_m(t))),$$

$$S_i(t) = 1 - t,$$

$$S_m(t) = t.$$

(단, $S_i(t)$ 는 상기 각 그룹에 적용할 크기조절을 위한 스칼라 함수 리스트임)

【청구항 11】

제 10항에 있어서,

N 개의 모핑 중간도형을 선형속도로 생성하는 경우에 상기 스칼라 함수 리스트는,

하기 수학적식과 같이 표현되는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$(S_i(t), S_m(t)) = (1 - t, t) = (1 - t(n), t(n))$$

$$t(n) = \frac{n}{N+1}, (0 < n < N+1)$$

【청구항 12】

제 10항에 있어서,

제어도형으로 수렴속도를 증가시키는 경우에 상기 스칼라 함수 리스트는,

하기 수학적식과 같이 표현되는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}
 (S_l(t), S_m(t)) &= \frac{1}{s(1-t) + t} (s(1-t), t) \\
 &= \frac{1}{s(1-t) + t} (s(1-t(n)), t(n)), \\
 t(n) &= \frac{n}{N+1}, (0 < n < N+1)
 \end{aligned}$$

【청구항 13】

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 4단계의 방향지도 역함수는,

다음의 수학식을 만족하는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}
 DM^{-1}(D) &= A \\
 DM(A) &= DM(DM^{-1}(D)) = D
 \end{aligned}$$

【청구항 14】

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 4단계의 다각형 생성은,

하기의 수학식에 의해 생성되는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}
 p_0 &= p_{init} \\
 p_{i+1} &= p_i + d_i \\
 p_0 &= p_n + d_n \\
 p_{i+m+1} &= p_i + \sum_{j=0}^m d_j
 \end{aligned}$$

【청구항 15】

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서,
 상기 제 4단계의 다각형 생성은,
 하기의 수학식에 의해 표현되는 순차적인 모핑 중간도형의 생성을 거치는 것
 을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$A(t) = DM^{-1}(D(t))$$

(단, $A(t)$ 는 모핑 중간도형이며, t 는 크기조절 인수임)

【청구항 16】

제 15항에 있어서,
 상기 모핑 중간도형의 생성은,
 하기와 같은 민코프스키 연산을 이용하는 것
 을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}
(1-t)A_0 \oplus tA_1 &= DM^{-1}(GS((DM(A_0) + DM(A_1)), (1-t, t))) \\
&= DM^{-1}(GS(D_0 + D_1, (1-t, t))) \\
&= DM^{-1}(GS(D, (1-t, t))) \\
&= DM^{-1}(D(t)) \\
&= A(t)
\end{aligned}$$

【청구항 17】

제 15항에 있어서,

복수개의 기하도형을 모핑하는 경우에 다각형 생성은,

하기의 수학식에 의해 표현되는 베지어 제어에 의한 모핑 중간도형의 생성을 거치는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned}
A(t) &= DM^{-1}(SG(\underline{D}, (B_0^M(t), \dots, B_M^M(t))) \\
\underline{D} &= \sum_{i=0}^M DM(A_i) = \sum_{i=0}^m D_i, \\
B_i^M(t) &= \binom{M}{i} t^i (1-t)^{M-i}
\end{aligned}$$

【청구항 18】

제 15항에 있어서,

복수개의 기하도형을 모핑하는 경우에 다각형 생성은,

하기의 수학식에 의해 표현되는 블러섬 제어에 의한 모핑 중간도형의 생성을 거치는 것

을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned} A(t_1, t_2, t_3) &= A_0^3[t_1, t_2, t_3] \\ &= DM^{-1}(SG(\neg D, (B_0^3(t_1, t_2, t_3), \dots, B_3^3(t_1, t_2, t_3)))) \end{aligned}$$

【청구항 19】

제 1항에 있어서,

기하도형의 모핑에 의하여 생성된 모핑 중간도형을 검증하는 제 5단계
를 더 포함하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

【청구항 20】

제 19항에 있어서,

상기 모핑 중간도형의 검증은,

하기의 수학식으로 표현되는 정규 방향지도에 의한 검증 방식을 이용하여 수행되는 것
을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$\begin{aligned} N(DM(A(t))) &= N(DM(DM^{-1}(D(t)))) \\ &= N(D(t)) \\ &= N(\neg D) \end{aligned}$$

【청구항 21】

제 19항에 있어서,

상기 모핑 중간도형의 검증은,

하기의 수학적식으로 표현되는 꼭지점 개수에 의한 검증 방식을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$N_{lm} = N_l + N_m - N_c$$

【청구항 22】

제 19항에 있어서,

상기 모핑 중간도형의 검증은,

하기의 수학적식으로 표현되는 경계선 길이에 의한 검증 방식을 이용하여 수행되는 것을 특징으로 하는 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법.

$$A_{lm} = DM^{-1}(GS((DM(A_l) + DM(A_m)), (1-t, t))),$$

$$L_{lm} = (1-t)L_l + tL_m$$

【청구항 23】

적어도 두 개 이상의 모양이 서로 다른 기하도형을 부드럽게 모핑하기 위하여 방향지도를 이용한 기하도형의 모핑 방법을 제공하기 위하여 마이크로프로세서를 구비한 모핑 장치에,

상기 기하도형에 대하여, 각각의 방향지도를 추출하는 제 1기능;

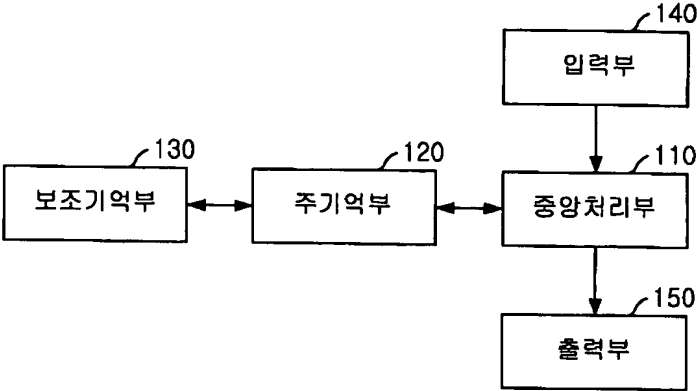
상기 방향지도를 병합하는 제 2기능;

병합된 방향지도에 대하여, 그룹단위 크기조절을 수행하는 제 3기능; 및

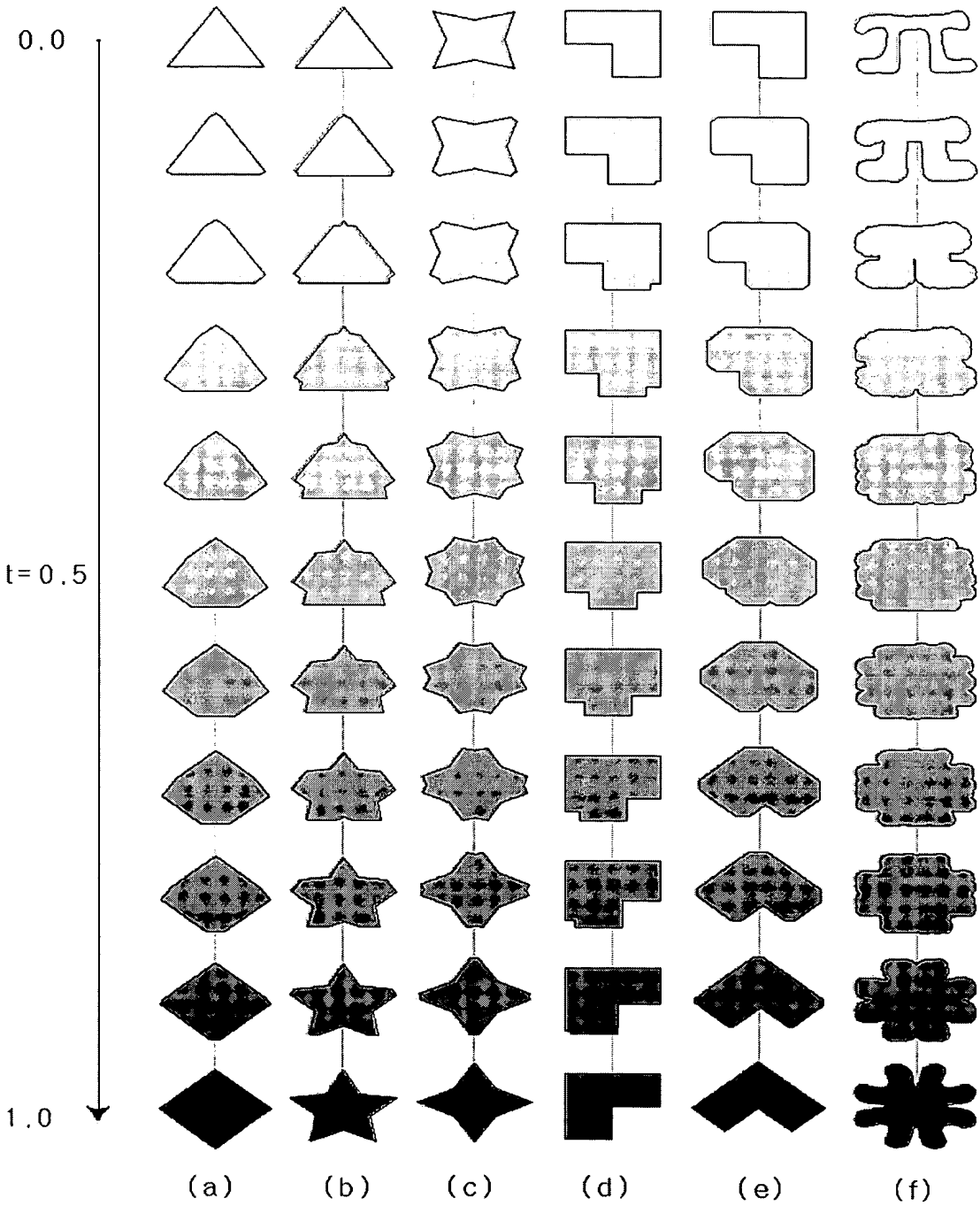
방향지도의 역함수를 이용하여 다각형을 생성하는 제 4기능
을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

【도면】

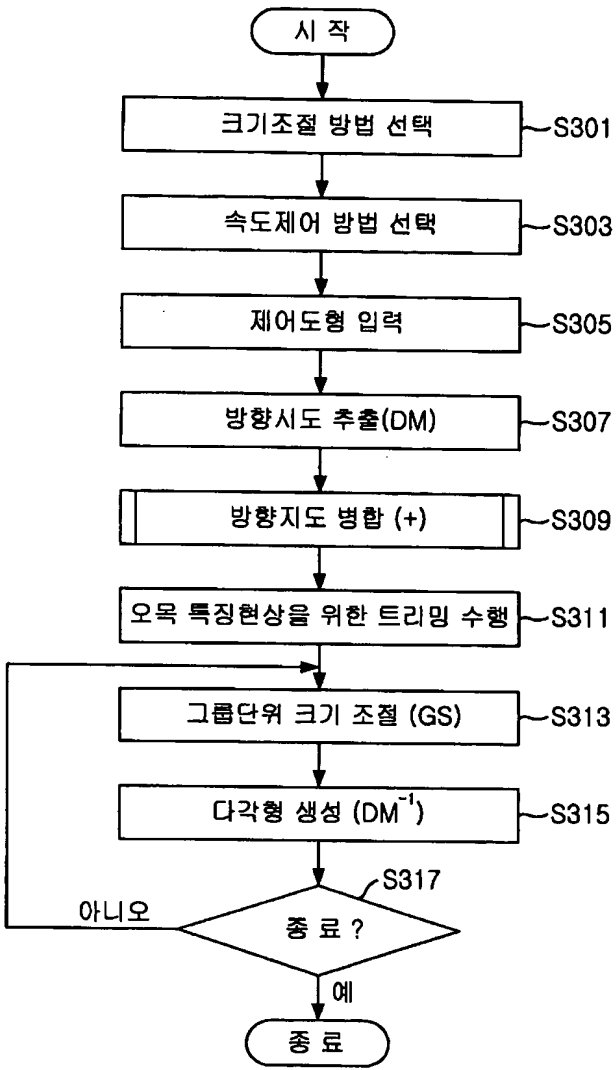
【도 1】



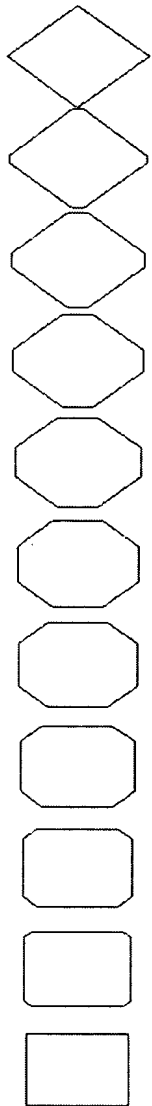
【도 2】



【도 3】



【도 4】



꼭지점 : 4
면적 : 0.320000
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.343859
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.362415
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.375670
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.383623
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.386274
길이 : 2.262742

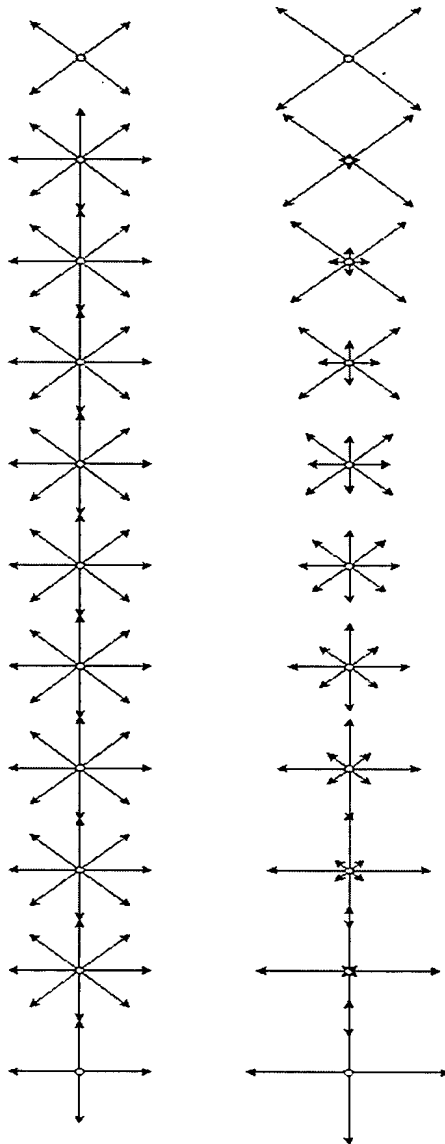
꼭지점 : 8
면적 : 0.383623
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.375670
길이 : 2.262742

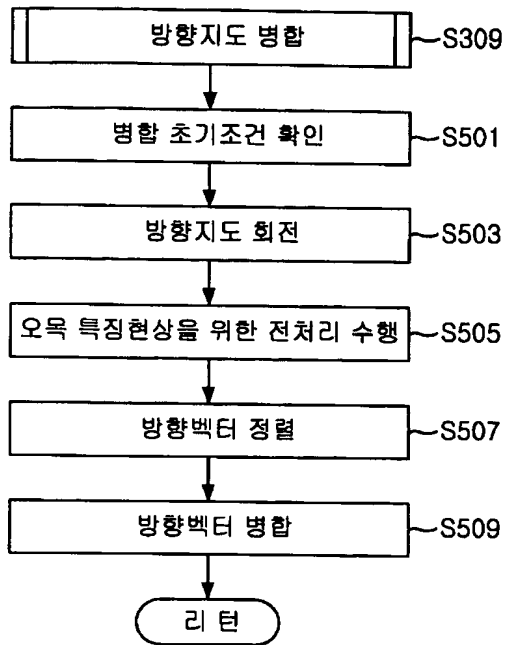
꼭지점 : 8
면적 : 0.362415
길이 : 2.262742

꼭지점 : 8
면적 : 0.343859
길이 : 2.262742

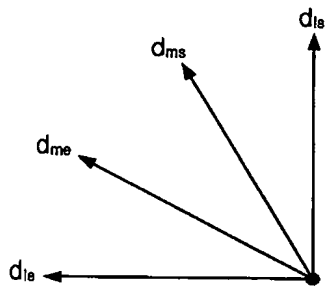
꼭지점 : 4
면적 : 0.320000
길이 : 2.262742



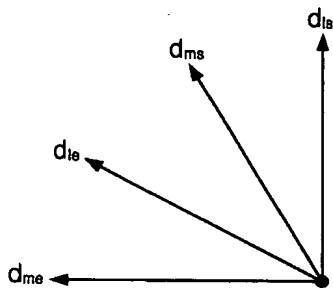
【도 5】



【도 6a】

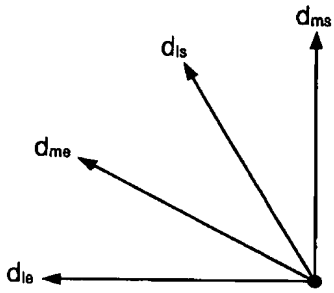


【도 6b】

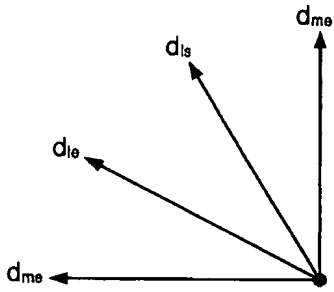




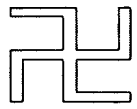
【도 6c】



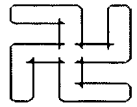
【도 6d】



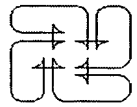
【도 7】



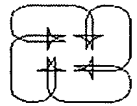
꼭지점 : 20
면 적 : 0.133200
길 이 : 4.560000



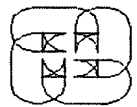
꼭지점 : 80
면 적 : 0.233712
길 이 : 5.035749



꼭지점 : 80
면 적 : 0.314928
길 이 : 5.511497



꼭지점 : 80
면 적 : 0.376848
길 이 : 5.987246



꼭지점 : 80
면 적 : 0.419472
길 이 : 6.462994



꼭지점 : 80
면 적 : 0.442800
길 이 : 6.938743



꼭지점 : 80
면 적 : 0.446832
길 이 : 7.414491



꼭지점 : 80
면 적 : 0.431568
길 이 : 7.890240



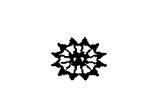
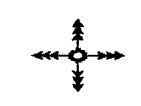
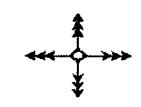
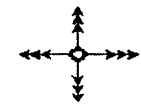
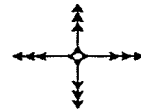
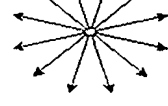
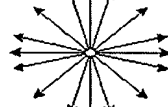
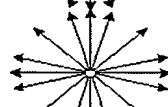
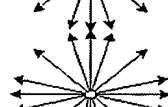
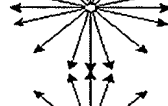
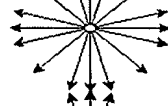
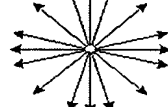
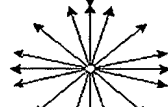
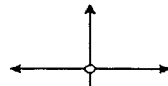
꼭지점 : 80
면 적 : 0.397008
길 이 : 8.365988



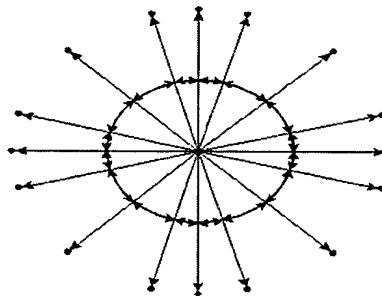
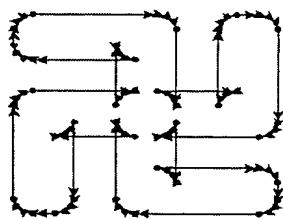
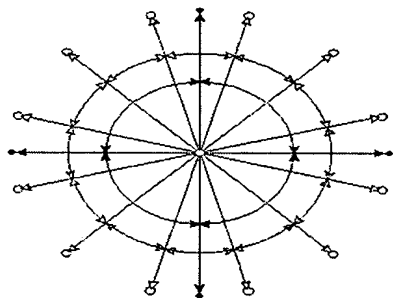
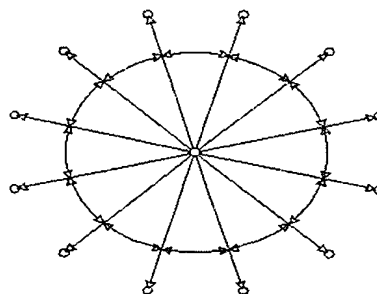
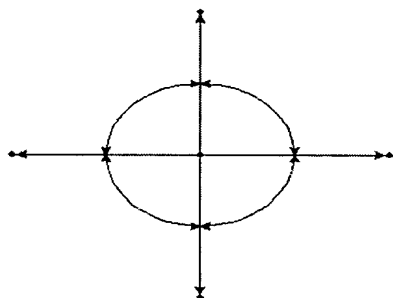
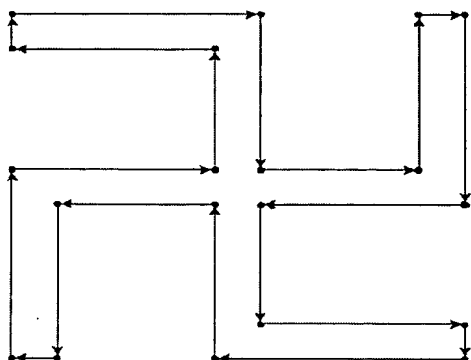
꼭지점 : 80
면 적 : 0.343152
길 이 : 8.841737



꼭지점 : 12
면 적 : 0.270000
길 이 : 1.863497

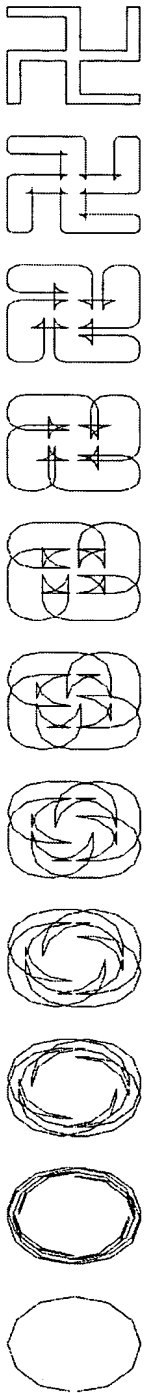


【도 8】



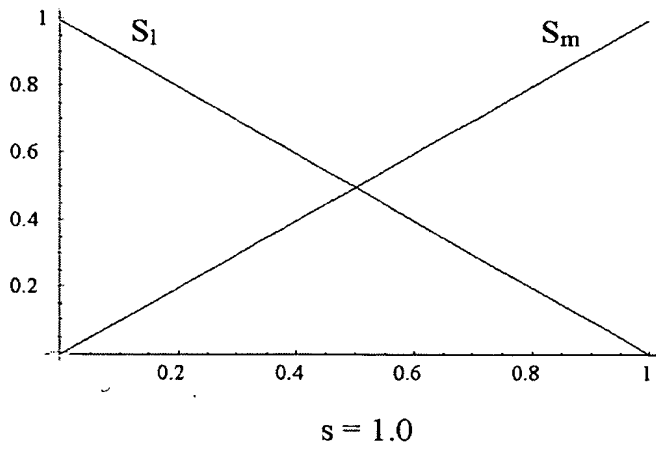


【도 9】

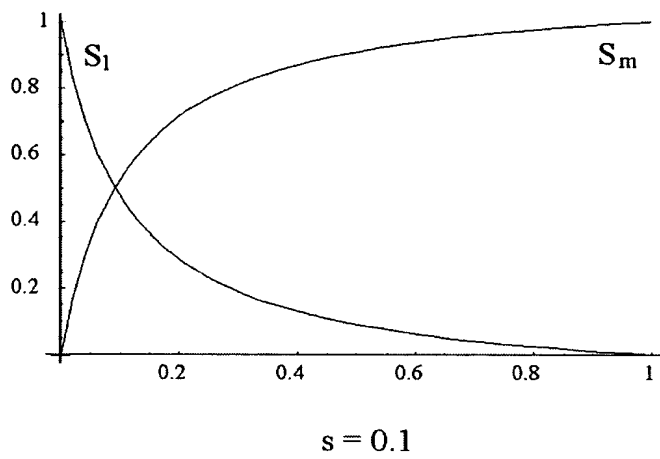




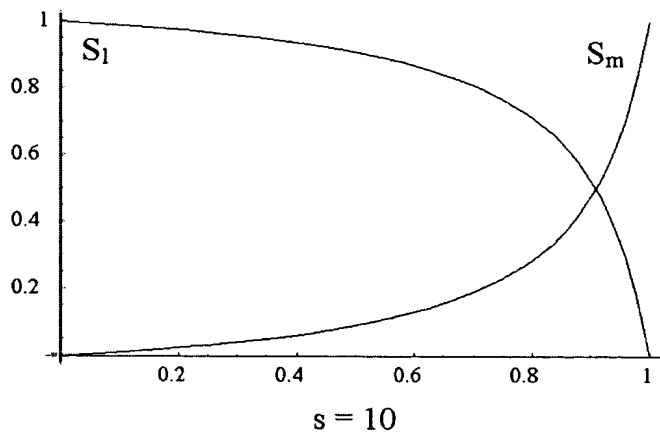
【도 10a】



【도 10b】

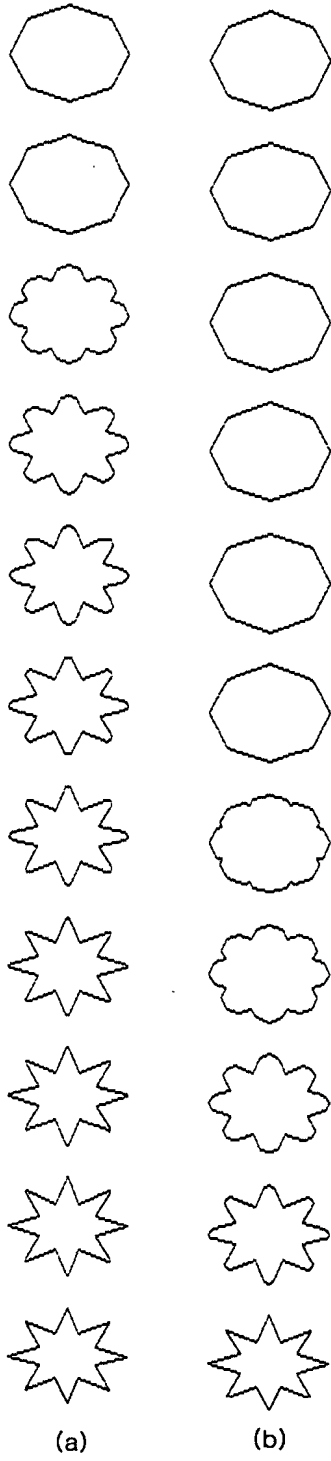


【도 10c】

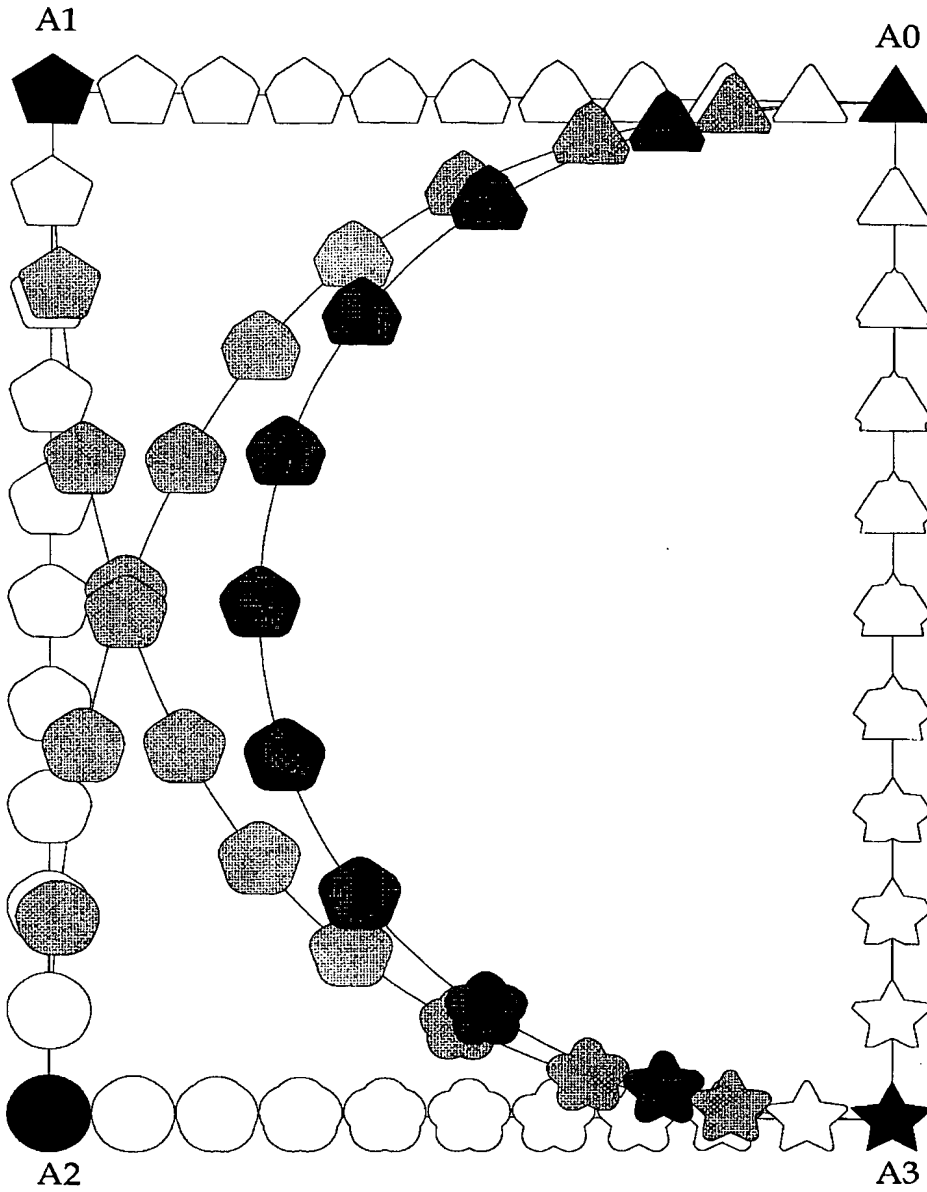




【도 11】



【도 12】



【도 13】

